

**DESARROLLO DE UN LABORATORIO DE CIRCUITOS RESISTIVOS
ASISTIDO, CONTROLADO POR MEDIO DE UNA INTERFAZ GRÁFICA, PARA
EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO.**

CRISTIAN ANDRÉS ESCUDERO ZAPATA

Proyecto de grado presentado como requisito
parcial para aspirar al título de Ingeniero Electrónico

Director

M.Sc. (c) Arley Bejarano Martínez

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PEREIRA**

2018

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	7
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	8
1.3	OBJETIVO GENERAL	9
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.5	ESTADO DEL ARTE.....	10
2	MARCO TEÓRICO	12
2.1	<i>Simuladores de Circuitos Eléctricos</i>	12
2.2	<i>Laboratorios Virtuales</i>	12
2.3	<i>Ley De Ohm</i>	12
2.4	<i>Ley de Corrientes de Kirchhoff</i>	12
2.5	<i>Ley de Tensión de Kirchhoff</i>	13
2.6	<i>Topologías Circuito Serie</i>	13
2.7	<i>Topologías Circuito Paralelo</i>	13
2.8	<i>Protocolo Serial</i>	14
2.9	<i>GUI en Matlab</i>	14
3	MATERIALES	15
3.1	<i>Microcontrolador PIC16F887</i>	15
3.2	<i>Potenciómetro Digital X9C103P</i>	15
3.3	<i>Multiplexor Análogo CD4051</i>	16
3.4	<i>Relé</i>	17
3.5	<i>Conversor USB-Serial</i>	17
4	DESARROLLO	18
5	RESULTADOS	29
6	CONCLUSIONES	36
7	TRABAJOS FUTUROS	37
8	Bibliografía	38

Índice de figuras

Figura 1. Resistencias en serie	13
Figura 2. Resistencias paralelo.....	14
Figura 3. Diagrama PIC16F887 [25].....	15
Figura 4. Señal de control necesaria para cambiar valor del potenciómetro.....	16
Figura 5. Diagrama Potenciómetro Digital X9C103P [26].....	16
Figura 6. Diagrama Multiplexor análogo CD4051	17
Figura 7 .Circuito Para Comunicación Serial.....	18
Figura 8 .Interrupción por Recepción Serial.	19
Figura 9 .Circuito de activación Relés	20
Figura 10. Circuito Para cambio de topología.....	21
Figura 11. Rutina para el cambio de valor del potenciómetro	22
Figura 12 . Sistema de Instrumentación.	22
Figura 13. Envío de datos medidos.	23
Figura 14 .Diseño de la interfaz gráfica en Matlab®	24
Figura 15 .Slider para el cambio de topología.....	24
Figura 16 .GUI en Circuito Serie	25
Figura 17 . Diagrama flujo botón AJUSTE.....	25
Figura 18 .Diagrama Flujo toma de datos.	26
Figura 19 .Circuito en topología paralelo.....	26
Figura 20 . Esquema del Sistema	27
Figura 21. Tarjeta Diseñada.	28
Figura 22. Prototipo del sistema diseñado.....	29
Figura 23 .Interfaz gráfica circuito Serie.....	30
Figura 24. Interfaz gráfica Circuito Paralelo.....	30
Figura 25. Tabulación respuesta 1 de la encuesta de validación.....	33
Figura 26 . Tabulación respuesta 2 de la encuesta de validación.....	33
Figura 27 . Tabulación respuesta 3 de la encuesta de validación.....	34
Figura 28 . Tabulación respuesta 4 de la encuesta de validación.....	34
Figura 29. Tabulación respuesta 5 de la encuesta de validación.....	35

Índice de tablas

Tabla 1. Configuración para cambio de Topología.....	20
Tabla 2 .Registro de datos.	32

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mis padres Humberto Escudero y Vicenta Zapata, ya que todo lo logrado hasta ahora ha sido posible gracias a su esfuerzo y gran sacrificio, valoro completamente cada enseñanza que me brindan ya que siempre lo hacen a través del ejemplo, de ellos comprendí el alto valor que tiene la educación. A Maria Alejandra, Lilia y Adela por inspirarme a ser mejor día a día y a toda mi familia por apoyarme durante todos estos años

A los “profes” del grupo de investigación en ingeniería electrónica GIIE Arley, Andrés, Leidy y Castillo, de quienes agradezco su apoyo incondicional y el tiempo que me han dedicado, no solo para formarme en competencias a nivel profesional, sino también inculcando grandes valores como persona.

A mis compañeros y amigos, de cada uno me llevo grandes enseñanzas. Por último, pero no menos importante a la Universidad Tecnológica de Pereira por ser ese espacio donde me formé, aprendí y disfruté en esta etapa de mi vida.

Resumen

Los procesos educativos deben ser coherentes y actualizar sus metodologías de acuerdo a los requerimientos tecnológicos actuales, la sociedad está siendo atravesada por una renovación tecnológica, a priori los profesionales deben estar capacitados en el manejo de herramientas informáticas, a pesar de esto la gran mayoría de los colegios no generan estas competencias en los estudiantes.

Otra gran falencia que tiene la enseñanza a nivel de básica secundaria es que no forman al estudiante en el hacer, debido a que existen grandes limitantes como la falta de espacios físicos o de recursos económicos que no permiten la implementación de laboratorios.

Una posible solución a esta problemática es el uso de laboratorios remotos o asistidos, estos sistemas permiten a los estudiantes acceder a prácticas de laboratorio a través del uso de las tecnologías de la información, desarrollando competencias en el uso de herramientas tecnológicas y formando estudiantes con habilidades en el hacer.

En este documento se presenta el diseño y la implementación de un módulo para el desarrollo de prácticas de laboratorio de circuitos resistivos de bajo costo controlado a través de una interfaz gráfica donde es posible ajustar la topología circuital, los valores de resistencia de cada elemento y realizar mediciones de tensión y corriente.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La inclusión de la tecnología en la vida diaria de las personas toma cada día más importancia, según la organización mundial de la salud, más de 2.9 millones de colombianos necesitan de manera urgente generar un mayor acercamiento a las nuevas tecnologías [1].

Una de las áreas que más necesita la implementación de nuevas tecnologías es la educación, ya que muchas de las metodologías para la enseñanza que se utilizan actualmente son las que se han aplicado desde hace varias décadas sin modificación alguna, aun cuando los estudiantes requieren adquirir nuevas competencias que los preparen para ser ciudadanos del siglo XXI [2].

El gobierno de Colombia es consciente de la necesidad de renovar las estrategias pedagógicas, por esto el ministerio de educación construye acuerdos conceptuales y lineamientos para orientar los procesos formativos en el uso de las TIC incorporando nuevas competencias, habilidades y saberes, que delinear el camino de la enseñanza con el uso de nuevas tecnologías, dando herramientas que mejoran la calidad del educador [3].

Incluir elementos tecnológicos de bajo costo para el mejoramiento del estado de los laboratorios en los colegios es de vital importancia y es una tarea que se debe implementar de manera inmediata, ya que en las instituciones educativas de nivel básico de Pereira pocos laboratorios se encuentran correctamente dotados debido a la falta de recursos por parte de las instituciones. Lo mismo sucede a nivel nacional, los colegios públicos del país no poseen espacios físicos para la implementación de laboratorios, sumado a esto los instrumentos de medición son costosos, los módulos para las practicas también poseen un alto valor económico y todos estos deben ser calibrados y ajustados constantemente debido a la inminente posibilidad de daño por un mal manejo de los estudiantes [4].

Una posible solución para la implementación de prácticas de laboratorio es acceder a laboratorios virtuales o simuladores, pero poseen dos limitantes fundamentales, la primera es el alto costo de las licencias para simulación lo que dificulta el acceso a estas herramientas por parte de colegios oficiales, la segunda es que tanto los laboratorios virtuales como los simuladores ofrecen resultados teóricos obtenidos por simulaciones en computador haciendo que el estudiante pierda abstracción sobre los fenómenos físicos que intervienen en montajes reales [5].

Aunque se han realizado grandes avances en laboratorios a nivel de pregrado y postgrado en universidades, los sistemas para la implementación en colegios no han sido desarrollados e incluidos en las aulas de clase, aun cuando en general las condiciones de infraestructura educativa no se encuentran en buenas condiciones y es necesario como ya se mencionó, mejorar las instalaciones académicas con el uso de herramientas tecnológicas [6].

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los sistemas tecnológicos se encuentra inmersa en la gran mayoría de los aspectos de la vida cotidiana, a priori los procesos educativos deben actualizarse de acuerdo a las necesidades de las poblaciones emergentes, que han sido testigos del desarrollo de nuevas tecnologías que emplean como si fuera una extensión de su cuerpo [7].

Es necesario desarrollar metodologías que actualicen los procesos educativos y eliminen las barreras que impiden a los estudiantes tener acceso a una educación completa y de calidad, donde se adquieran competencias no solo teóricas sino también en el hacer, pero los sistemas que permiten desarrollar estas competencias son altamente costoso y asequible únicamente por las grandes universidades

Un sistema para el desarrollo de prácticas de laboratorio de circuitos resistivos controlado a través de una interfaz gráfica de computador permitiría a los colegios acceder a prácticas de laboratorio donde los estudiantes desarrollarían competencias en el uso de nuevas tecnologías altamente necesarias debido a las demandas tecnológicas actuales, mientras complementan los temas aprendidos en las materias teóricas desarrollando competencias en el hacer, con un sistema que posee los parámetros de un circuito real como las diferentes clases de ruido, errores de medición y tolerancia de los elementos, sin incurrir en problemas como falta de espacios físicos, los elevados costos de adquisición y mantenimiento de equipos típicos de laboratorio típicos de los colegios públicos, generando un impacto positivo en el nivel académico de las instituciones que implementen estas tecnologías.

Debido a que todos los elementos del módulo son de bajo costo facilitaría el acceso no solo por parte de los colegios públicos sino también de particulares que deseen adquirirlo, ya que tras una posible fabricación en masa el producto final disminuiría considerablemente su valor.

En el estado del arte ya se han planteado sistemas para laboratorios en el área de circuitos, pero los componentes son estáticos y no permiten una amplia manipulación, el uso de potenciómetros digitales en la implementación del sistema permite una mayor flexibilidad por parte del usuario para ajustar los valores de los elementos según su necesidad y disminuye significativamente el costo de implementación.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema asistido de circuitos resistivos en topologías serie, paralelo y estrella controlado por medio de una interfaz gráfica que permita desarrollar prácticas de laboratorio.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un circuito que permita el cambio de topología a serie, paralelo y mixto
- Implementar un algoritmo en un sistema embebido que seleccione, controle y mida los diferentes parámetros del sistema.
- Diseñar una interfaz gráfica que permita al usuario controlar los parámetros del circuito y visualizar las diferentes medidas.

1.5 ESTADO DEL ARTE

Los sistemas asistidos y remotos se han desarrollado en diferentes temáticas en los últimos años, impulsados por los avances tecnológicos a continuación se presentan los sistemas más significativos donde se incluyen procesos tecnológicos para la realización de prácticas de laboratorio.

En el año 1998 en el Politécnico di Milano se realizó una de las primeras inclusiones de tecnologías de la información en los procesos de aprendizaje, donde se permitía dictar lecciones, seminarios y tutoriales a través de un aula virtual [8].

En 1999 en la Universidad Nacional de Singapur se diseñó un laboratorio de acceso remoto, este permitía a través de LabVIEW observar parámetros de un circuito a través de un osciloscopio [9].

En 2006 C Tzafestas, N Palaiologou y M. Alifragis de la Universidad de Athens desarrollaron una plataforma de laboratorio para la manipulación de prototipos robóticos comparando los resultados obtenidos respecto a una metodología presencial típica, remota y asistida [10].

En el 2010 en España, coordinado por la Universidad Nacional de educación a distancia se realizó la integración de dispositivos físicos mediante plataformas como LabVIEW, Matlab y C/C++, el sistema denominado AutomatL@bs cuya principal característica es el accionamiento de estos sistemas de forma remota [11] fue implementado por los autores H. Vargas y J. Sánchez en 7 universidades españolas, el laboratorio estaba comprendido por un sistema de tres tanques acoplados y un prototipo de brazo robótico, entre los estudiantes encuestados se obtuvo un 91% de satisfacción evidenciando la practicidad de estos sistemas [12].

También en España en la Universidad Europea de Madrid se han realizado laboratorios para prácticas de control de nivel, temperatura y estabilización de barcos, permitiendo ser accionados de manera local o remota a través de una interfaz de usuario, los autores aseguran generar ventajas en la puesta a punto de los sistemas experimentales optimizando el tiempo de la práctica, también aseguran que los alumnos consideran conveniente combinar prácticas de laboratorio presenciales con los sistemas asistidos [13].

Otra temática que se aborda es la enseñanza de electrónica básica, donde J. García plantea un sistema que permite montar circuitos electrónicos básicos como resistencias y diodos, observando sus respuestas en el tiempo en osciloscopios a través de una interfaz de accionamiento y visualización [14]. También se han propuesto en Bilbao laboratorios enfocados en temáticas de electrónica básica como el manejo amplificadores de pequeña señal transistores bipolares BJT [15].

Pero no solo en el ámbito internacional se han realizado avances en prácticas de laboratorio, en un proyecto entre la Universidad del Valle y la Universidad del Quindío se desarrolló un laboratorio distribuido para la enseñanza de la robótica, permitiendo realizar tareas de programación, supervisión y visualización usando video y herramientas de representación en 2D [16].

En 2010 en la Universidad EAFIT se presentó una plataforma para acceso remoto a instrumentación física avanzada contando con diferentes equipos de medición eléctrica y microscopios de acceso a través de LabVIEW [17].

En la Universidad Tecnológica de Pereira también se han desarrollado sistemas para realizar prácticas de laboratorio, como es el caso de un módulo de física para desarrollar de forma experimental el fenómeno de difracción de la luz [4].

Pero este no es el primer laboratorio que se diseña en la Universidad Tecnológica de Pereira, en el año 2000 se diseñó un laboratorio de circuitos eléctricos con acceso remoto, compuesto por una matriz de conmutación que conectan 6 impedancias, compuestas por tres resistencias, una capacitancia y dos inductancias, todas de valor fijo [18].

2 MARCO TEÓRICO

2.1 *Simuladores de Circuitos Eléctricos*

Un simulador de circuitos se define como un programa de computadora que contiene los modelos matemáticos necesarios para reproducir teóricamente un sistema eléctrico, permitiendo al usuario manipular los parámetros del circuito simulado y desplegar los resultados de medidas realizadas [19].

2.2 *Laboratorios Virtuales*

Un laboratorio virtual es un programa de computadora que pretende simular el ambiente en un laboratorio real mediante simulaciones que permitan desarrollar prácticas de laboratorio [20].

2.3 *Ley De Ohm*

Ley básica de circuitos eléctricos, establece que la tensión entre los puntos de un conductor es proporcional a la intensidad de la corriente que circula por el elemento conductor multiplicada por un factor de proporcionalidad como se observa en la ecuación 1.

$$V = R * I \quad (1)$$

Donde V es la diferencia de potencial, R es la resistencia e I la corriente que circula por el elemento [21].

2.4 *Ley de Corrientes de Kirchhoff*

Se basa en la ley de la conservación de la carga, estableciendo que la suma algebraica de las corrientes que entran a un nodo es de cero, expresado matemáticamente como se observa en la ecuación 2.

$$\sum_{n=1}^N i_n = 0 \quad (2)$$

Donde N es el número de ramas conectadas al nodo e i_n es la n ésima corriente que entra o sale del nodo [22].

2.5 Ley de Tensión de Kirchhoff

Se basa en el principio de la conservación de la energía, estableciendo que la suma algebraica de todas las tensiones alrededor de una trayectoria cerrada es cero, expresada matemáticamente como se observa en la ecuación 3.

$$\sum_{m=1}^N V_m = 0 \quad (3)$$

Donde M es el número de tensiones y V_m es la m -ésima tensión. [22]

2.6 Topologías Circuito Serie

Un circuito en serie es aquel en el que los terminales de cada elemento se conectan secuencialmente, es decir el terminal de salida de un dispositivo se conecta al terminal de entrada siguiente, para el caso de resistencias, la resistencia de la figura 1 total se puede expresar como se aprecia en la ecuación 4 [22].

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_N = \sum_{n=1}^N R_n \quad (4)$$

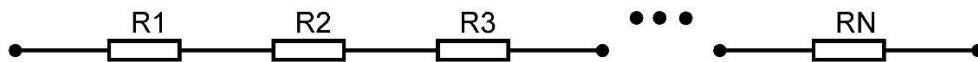


Figura 1. Resistencias en serie

2.7 Topologías Circuito Paralelo

Un circuito resistivo en paralelo es aquel donde los terminales de entrada de los elementos resistivos están conectados al mismo nodo, de igual forma, los terminales de salida de todos los elementos están conectados al mismo nodo.

La resistencia total de los elementos de la figura 2 se expresa matemáticamente en la ecuación 5

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} \quad (5)$$

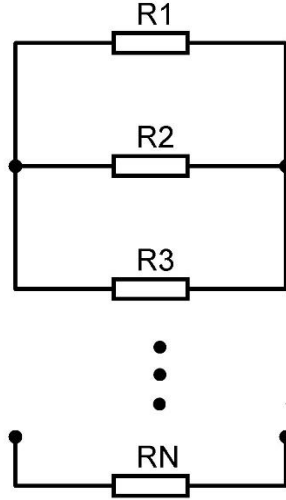


Figura 2. Resistencias paralelo

2.8 *Protocolo Serial*

La comunicación serial es un protocolo comúnmente usado en telecomunicaciones, consiste en enviar y recibir bytes un bit a la vez de forma secuencial, típicamente los datos enviados se encuentran en formato ASCII, para generar una transmisión bidireccional a través del protocolo serial solo son necesarias tres líneas, Referencia, Transmitir y recibir y la configuración de la velocidad de transmisión los bits de datos, bits de parada y paridad, esto hace que el proceso sea sencillo y fácil de implementar [23].

2.9 *GUI en Matlab®*

También conocidas como interfaces gráficas, permiten el control de aplicaciones de software a través de un frontal gráfico, por lo general incluyen controles como menús, barras de herramientas, botones y controles deslizantes [24].

3 MATERIALES

3.1 Microcontrolador PIC16F887

Sistema embebido de bajo costo, con una frecuencia de uso de 8Mhz a 31KHz, consumo típico de 220uA, 35 pines I/O, memoria ROM de 8Kb, 368 Bytes de Memoria RAM, Conversor Análogo digital con resolución de 10 bits disponible en 14 canales, 3 timers independientes, PWM, Modulo UART con soporte RS-232, puerto serie síncrono que soporta SPI e I2C, en la figura 3 se observa el diagrama del PIC mencionado [25].

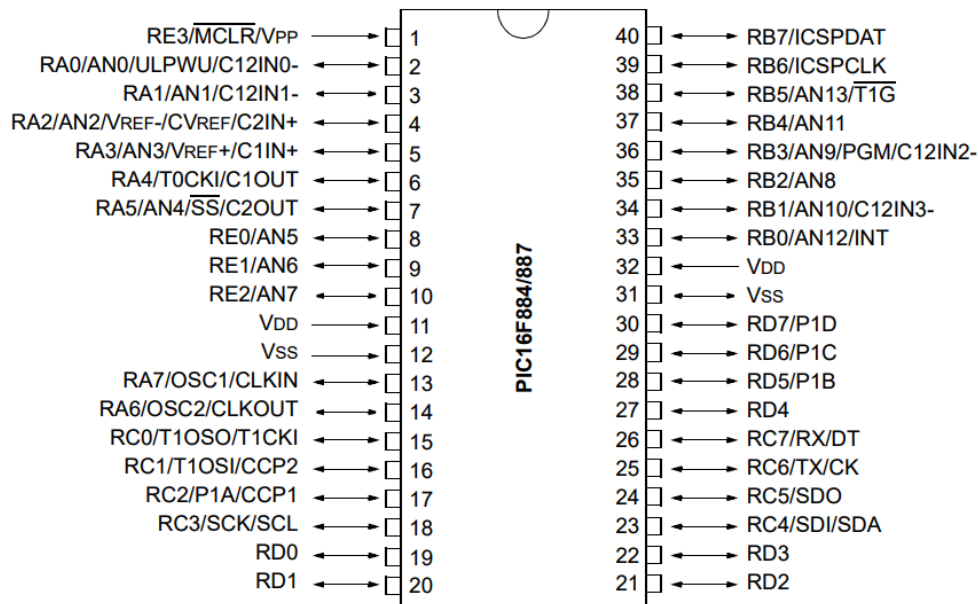


Figura 3. Diagrama PIC16F887 [25]

3.2 Potenciómetro Digital X9C103P

Circuito integrado compuesto internamente por una matriz de resistencias, lo que permite variar la resistividad entre sus terminales controlado a través de señales digitales (flancos de subida o bajada), la referencia X9C103P posee un valor máximo de resistencia de 10k Ω y una resolución de 100 Ω . En la figura 4 se observa la señal de control necesaria para aumentar o disminuir el valor de resistencia y en la figura 5 el diagrama del circuito [26].

MODE SELECTION

\overline{CS}	\overline{INC}	U/D	Mode
L	\downarrow	H	Wiper Up
L	\downarrow	L	Wiper Down
f	H	X	Store Wiper Position
H	X	X	Standby Current
f	L	X	No Store, Return to Standby

Figura 4. Señal de control necesaria para cambiar valor del potenciómetro.

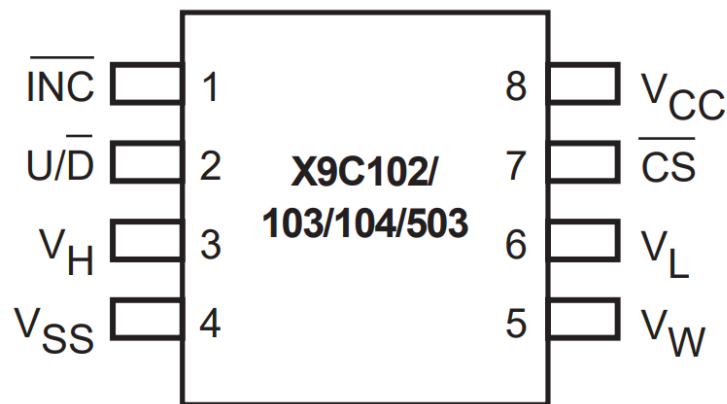


Figura 5. Diagrama Potenciómetro Digital X9C103P [26].

3.3 Multiplexor Análogo CD4051

El multiplexor análogo es un circuito integrado que posee varias entradas y la capacidad de seleccionar una de estas para ser transmitida a la salida el CD4051 tiene como principales características 8 entradas análogas con tensión de entrada de -5V a 5V, alta impedancia, conexión a VCC de hasta 10V, en la Figura 6 se observa el diagrama del circuito integrado [27].

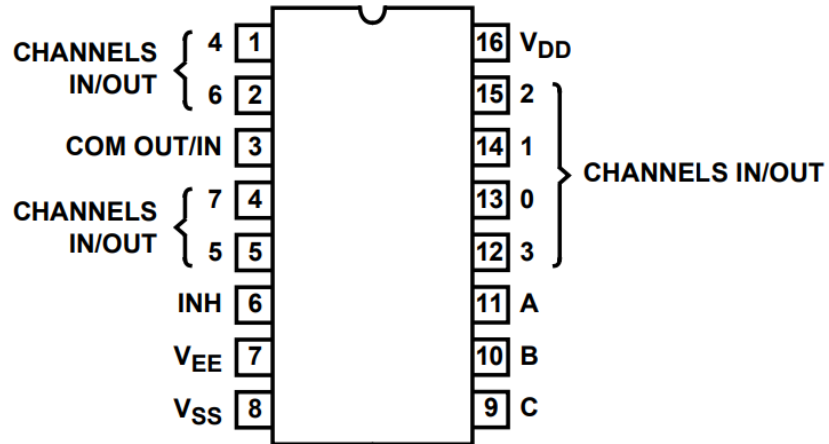


Figura 6. Diagrama Multiplexor análogo CD4051

3.4 Relé

Dispositivo electrónico que funciona como interruptor, permitiendo abrir y cerrar contactos usando una señal de corriente.

3.5 Conversor USB-Serial

Cable adaptador de RS-232 DB9 Serial a USB, sirve de puente entre la interfaz serial implementada en el microcontrolador y el Bus serie Universal (USB) que utilizan los computadores actualmente [28].

4 DESARROLLO

El objetivo del trabajo es diseñar e implementar un sistema asistido para el desarrollo de prácticas de laboratorio de circuitos resistivos, que permita cambiar la topología y el valor de las resistencias a través de una interfaz gráfica, el sistema embebido escogido es el microcontrolador PIC16F887 debido a que posee un bajo costo y sus características encajan perfectamente en la aplicación, este es el encargado de comunicar y controlar todo el sistema.

Se desarrollan las diferentes partes del sistema, inicialmente se implementa una etapa con MAX232 que permite la comunicación serial entre un computador y el microcontrolador.

En la Figura 7 se observa la conexión utilizada, donde TX_uC y RX_uC con los pines de recepción y transmisión del microcontrolador mientras TX_DB9 y RX_DB9

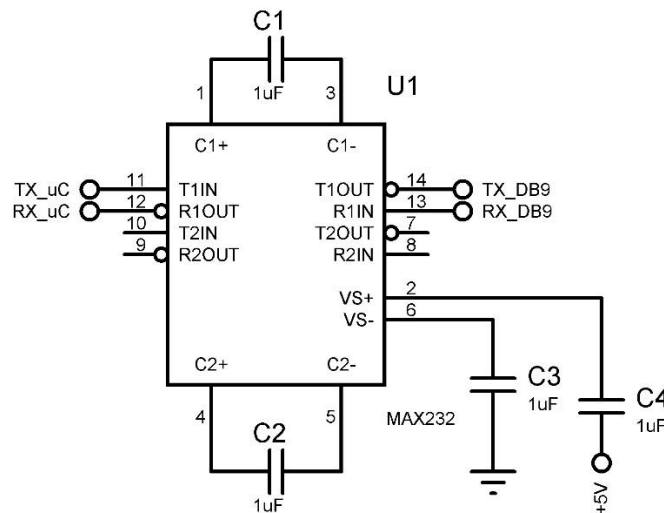


Figura 7. Circuito Para Comunicación Serial

El circuito de la figura 7 usado para la comunicación serial funciona bajo los siguientes parámetros: comunicación asíncrona, 9600 baudios, 1 Bit de parada, dato de 8 bits, para esto se configura en el microcontrolador los registros necesarios para el correcto funcionamiento [25].

SENDB=0 Envía Bits de pausa
ADDEN=1
SPBRG=12 Comunicación de 9600 baudios
SYNC=0 Comunicación asíncrona
SPEN=1 Habilita comunicación
CREN=1 Habilita recepción
TXEN=1 Habilito el envío
BRG16=0 8 bits
BRGH=0
RCIE=1 Habilita interrupción de recepción

Configurado esto, se desarrolla una función utilizando interrupción por comunicación serial, en la figura 8 se presentan las instrucciones realizadas por la función.

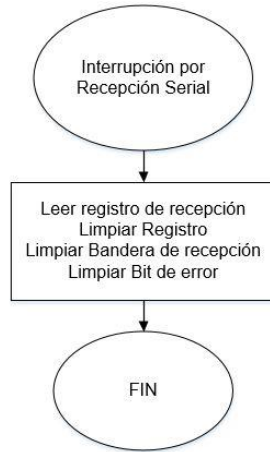


Figura 8. Interrupción por Recepción Serial.

El cambio de topología circuital se realiza utilizando relés, estos al funcionar como interruptores permiten que los elementos resistivos del circuito cambien de nodos, generando diferentes conexiones, debido a que la bobina de cada relé consume más corriente (80mA aproximadamente) que la entregada por los pines del microcontrolador (25mA máximo), se realiza una etapa de accionamiento utilizando transistores en modo interruptor como se aprecia en la figura 9, donde PIN_uC corresponde al pin del microcontrolador usado para activar cada relé.

La resistencia de base del transistor se calcula con la ecuación 6.

$$R_B = \frac{V_{in} - 0.7V}{i_c / \beta} \quad (6)$$

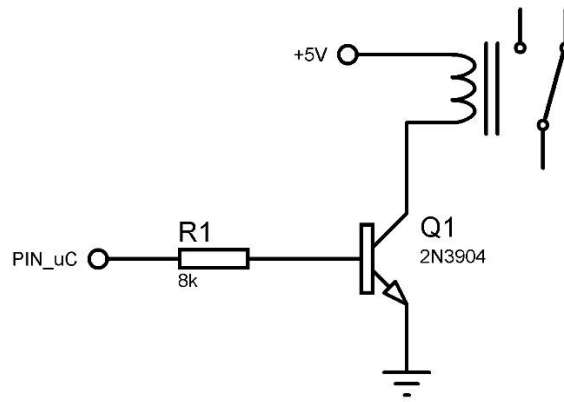


Figura 9. Circuito de activación Relés

La activación de cada relé se realiza usando los pines del microcontrolador como salidas digitales. La etapa de cambio de topología se diseñó usando 7 relés, en la tabla 1 se observa que interruptor debe activarse para generar cada topología de acuerdo a la conexión utilizada, que se observa en la figura 10. Donde S1, S2,...,S7 son los interruptores de cada Relé, POT1, POT2 y POT3 son los potenciómetros digitales que simularán el comportamiento de cada resistencia y R1, R2 y R3 son las resistencias para la medición de corriente

TOPOLOGIA				INTERRUPTOR						
Serie	Paralelo	Estrella	Delta	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1

Tabla 1. Configuración para cambio de Topología

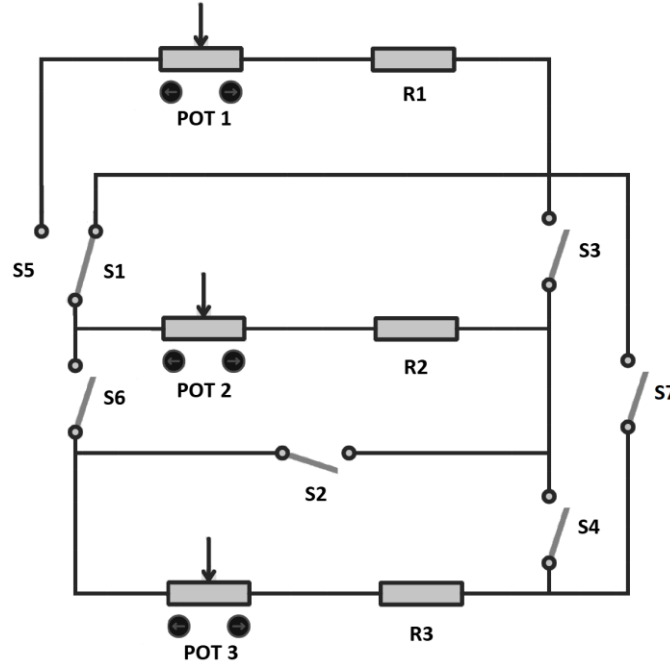


Figura 10. Circuito Para cambio de topología

Configurada la comunicación serial y el cambio de topología se procede a probar los potenciómetros digitales, ya que estos permiten ajustar su valor de resistividad a través de una señal digital, es posible usarlos como las resistencias del circuito, como se observa en la imagen 10 se usan 3 potenciómetros, elementos suficientes para generar las topologías de circuito a implementar.

El potenciómetro digital X9C103p incrementa o disminuye el valor de resistencia con un flanco de bajada en el pin CS y un “1” o “0” lógico en el pin U/D respectivamente, como se observa en la figura 4, sabiendo esto, se desarrolla una rutina para realizar el cambio de valor de resistencia, como se observa en el diagrama de flujo de la figura 11, donde la primera instrucción se realiza para bajar el potenciómetro a su menor valor, así, si se desea llegar a un valor en el rango de trabajo del potenciómetro se generaran n flancos de bajada en el pin CS, mientras U/D se encuentra en estado alto. recordando que solo se pueden seleccionar valores múltiplos de 100 debido a la naturaleza del potenciómetro digital.

Donde n se calcula con la ecuación 7.

$$n = \frac{\text{Valor Resistencia}}{100} \quad (7)$$

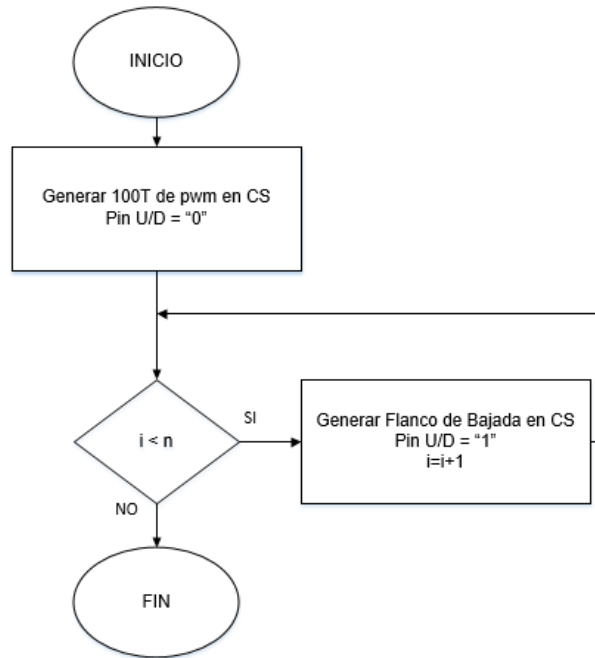


Figura 11. Rutina para el cambio de valor del potenciómetro

Paso siguiente se desarrolla un sistema de instrumentación que permite medir la tensión y la corriente (indirectamente usando la ley de Ohm) en cada uno de los tres elementos del circuito, debido a que se debe medir la diferencia de potencial en cada elemento, se conecta cada nodo del circuito dos multiplexores análogos, estos permiten seleccionar entre cada elemento y la salida se referencia a tierra utilizando un amplificador de instrumentación, permitiendo leer los valores de tensión con el ADC del microcontrolador, este circuito se muestra en detalle en la figura 12.

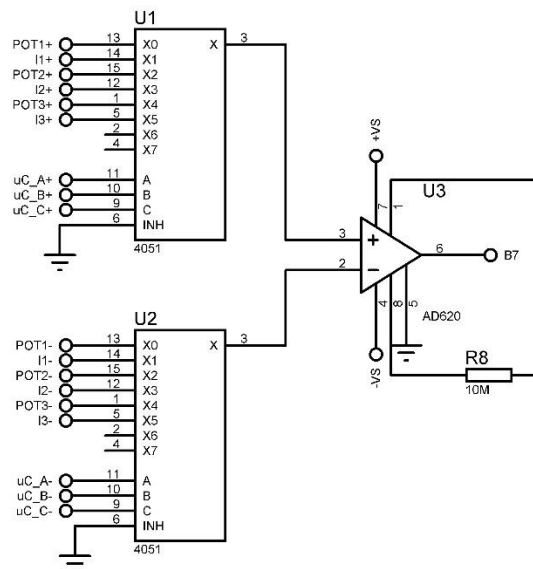


Figura 12. Sistema de Instrumentación.

Se configuran los registros necesarios para realizar las medidas de tensión con el ADC del microcontrolador.

ADCON0= 0b10000001 Configuración del puerto

ADCON1= 0b10000000 Configura tensión de referencia

ADON=1 VCFG

OSCCON=0x71 Configuración del reloj del microcontrolador

Una vez realizada la configuración, se desarrolla una rutina que permite enviar la medida tomada por el ADC a través de comunicación serial como se aprecia en la figura 13.

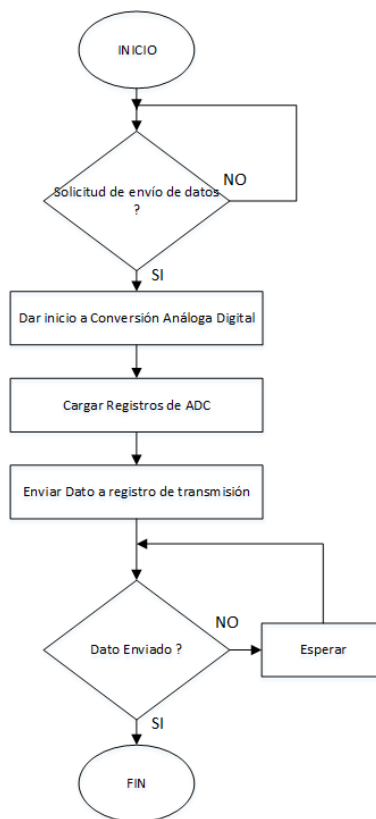


Figura 13. Envío de datos medidos.

Finalizado el diseño concerniente al sistema, se procede a desarrollar la interfaz gráfica ya que todas las pruebas realizadas se realizaron creando un objeto serial desde la ventana de comandos de Matlab®, en la figura 14 se observa la interfaz gráfica diseñada.



Figura 14. Diseño de la interfaz gráfica en Matlab®

En la parte izquierda de la interfaz es posible seleccionar el puerto al que se encuentra conectado el sistema y seleccionar la velocidad de transmisión, ya que la aplicación no requiere de gran velocidad para el correcto funcionamiento se selecciona 9600 Baudios, que es la velocidad a la que se configuró el microcontrolador.

Una vez conectado el sistema es posible seleccionar la topología deseada dando click en el slider que se encuentra en la esquina superior derecha de la figura 15 como se observa a continuación.

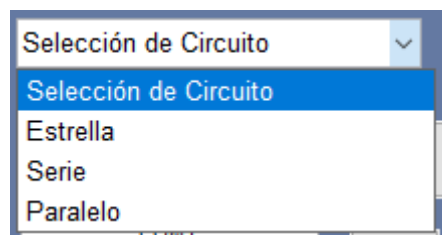


Figura 15. Slider para el cambio de topología.

Seleccionada la topología aparece el circuito seleccionado y en cada elemento resistivo la posibilidad de ingresar el valor deseado ver figura 16, una vez ingresado, al presionar el botón de ajuste, se realizará la configuración de cada resistencia del sistema, generándose el valor deseado, el funcionamiento del botón ajuste se aprecia en el diagrama de la figura 17.

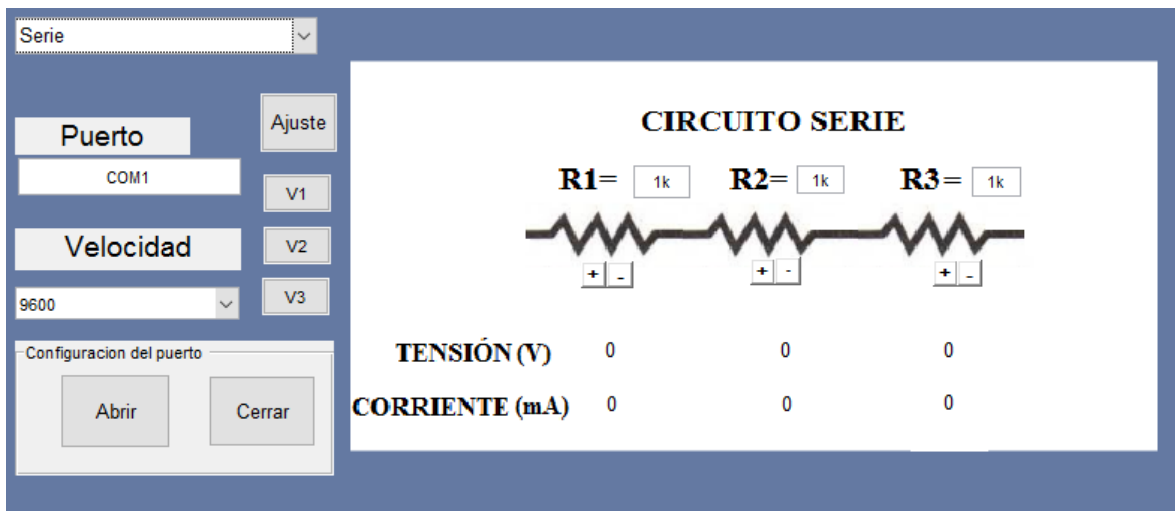


Figura 16. GUI en Circuito Serie

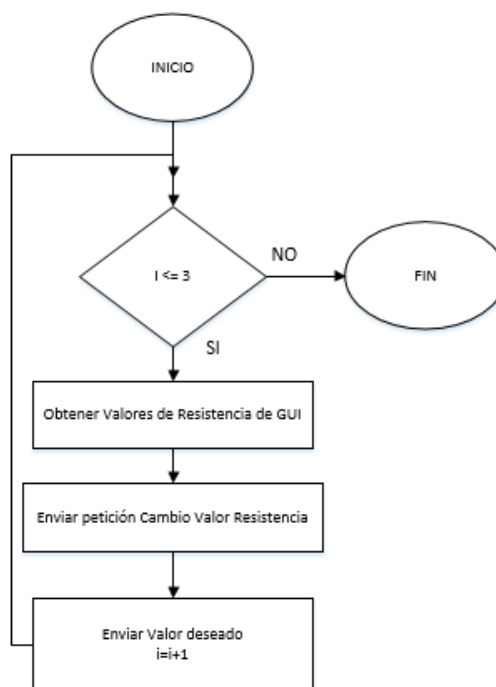


Figura 17. Diagrama flujo botón AJUSTE

Después de ajustar correctamente la topología y el valor de resistencia es posible medir tensión y corriente en cada resistencia con los botones V1, V2 y V3, estos solicitan las medidas realizadas por el ADC y las presentan en la interfaz gráfica, el funcionamiento de estos botones se observa en la figura 18, recordando que el circuito resistivo se encuentra conectado a una fuente de 5V.

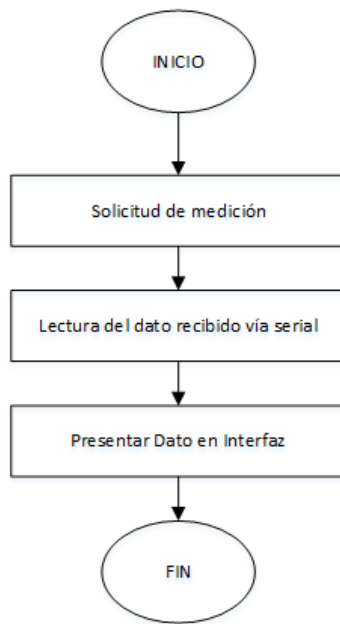


Figura 18. Diagrama Flujo toma de datos.

Se verifica el funcionamiento del sistema para las topologías diseñadas, en la figura 19 se presenta un circuito en topología paralelo.

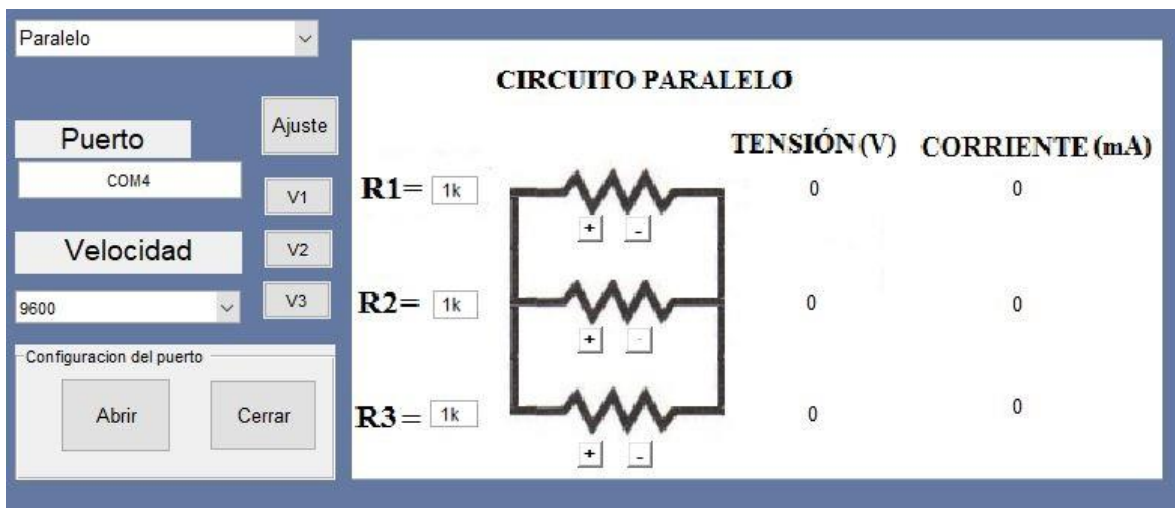


Figura 19. Circuito en topología paralelo

[illegible]

27

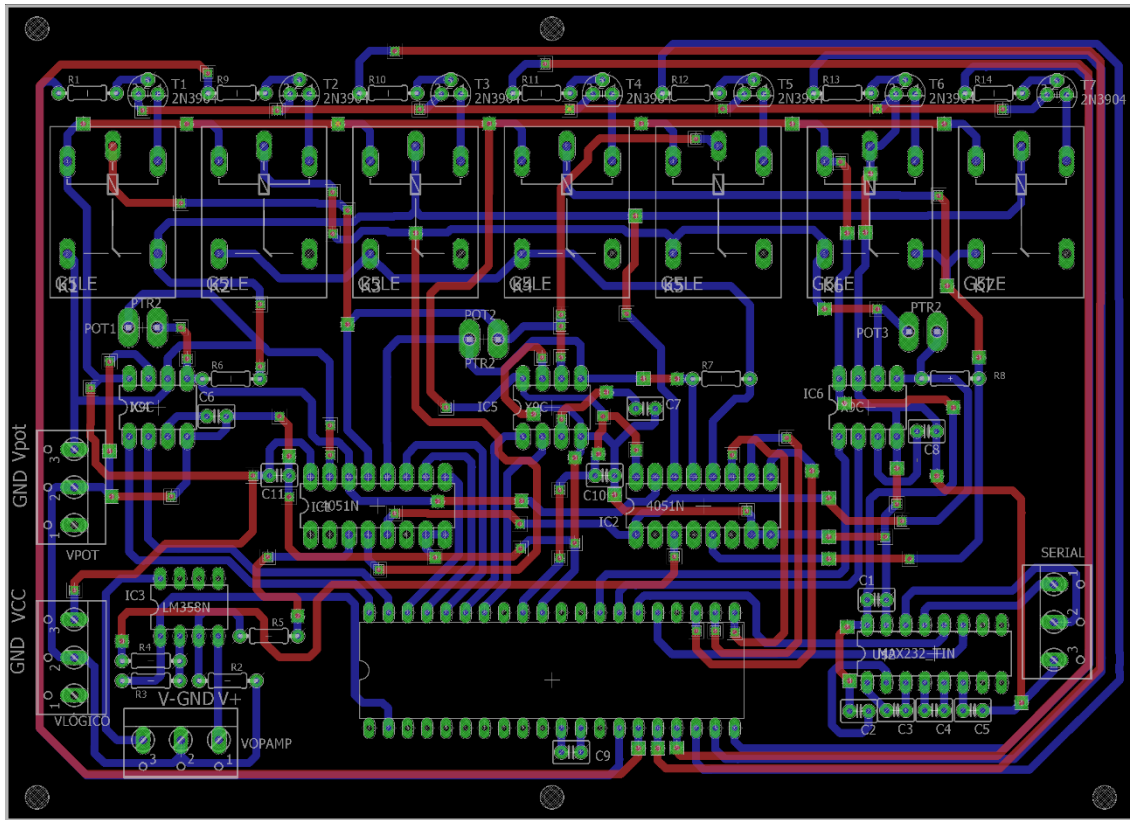


Figura 21. Tarjeta Diseñada.

5 RESULTADOS

En la figura 22 se muestra el prototipo del sistema diseñado, ruteado en circuito impreso, donde se observa a grandes rasgos cada una de las etapas, en la parte superior el microcontrolador utilizado, seguido de los multiplexores análogos, los potenciómetros digitales y finalmente, el arreglo de relés.

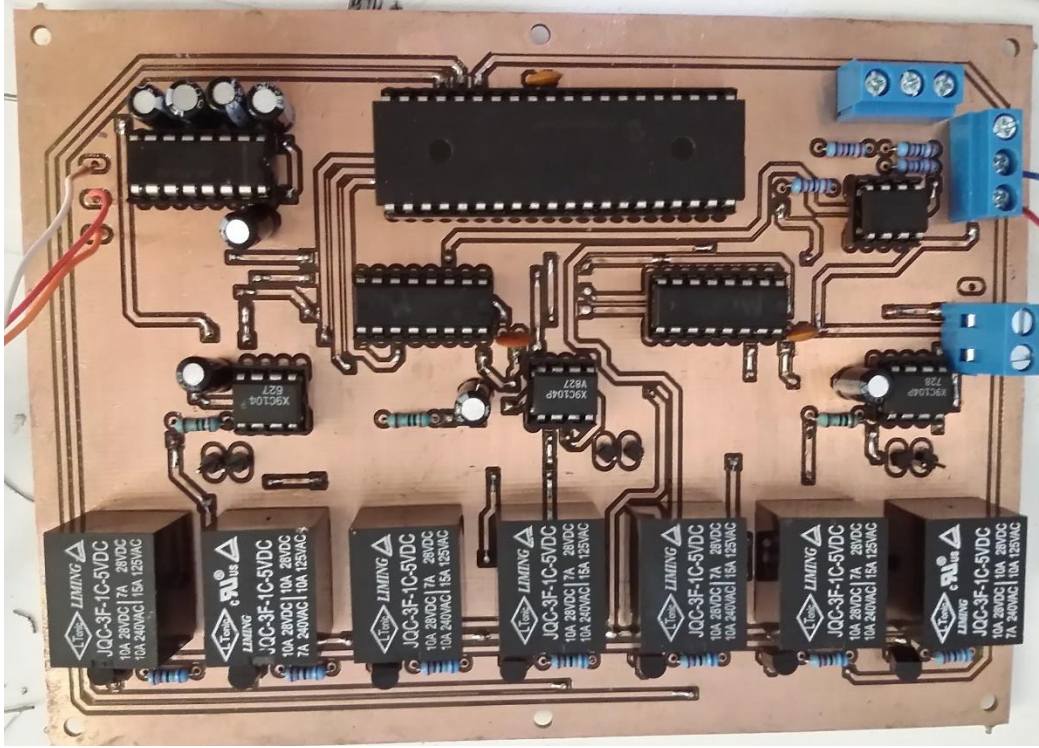


Figura 22. Prototipo del sistema diseñado

Debido a que el circuito diseñado está conformado en su gran mayoría por elementos no lineales al realizar las medidas presenta un error RMS total de 0.4V, para solucionar esto se realiza un proceso de calibración respecto a los valores teóricos usando mínimos cuadrados, para esto se toman mil datos por cada valor posible de cada potenciómetro, con los valores obtenidos, reduciendo el error a 0.213 V respecto al valor teórico, las ecuaciones obtenidas del proceso de calibración se presentan en (8), (9), (10) respectivamente.

$$V_{pot1} = 0.007045 x^2 + 1.065 x + 0.02042 \quad (8)$$

$$V_{pot2} = -0.01154 x^2 + 1.142 x + 0.04672 \quad (9)$$

$$V_{pot3} = x^2 + 1.126 x + 0.04252 \quad (10)$$

Se implementan las ecuaciones obtenidas y se verifica la disminución del error, el objetivo del sistema es poseer un circuito con todos los parámetros reales de un circuito montado en protoboard en laboratorio, para que el estudiante analice los fenómenos físicos que afectan los circuitos resistivos, además de las típicas tolerancias en las resistencias convencionales.

En la figura 23 y 24 se aprecia la configuración de circuito en serie y paralelo respectivamente con error de 0.043 respecto al valor teórico calculado

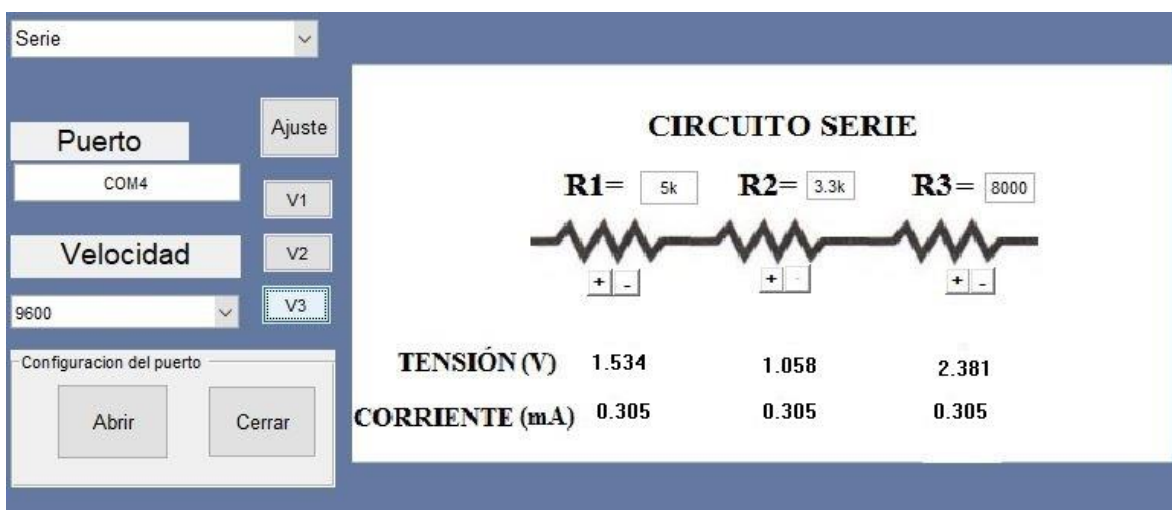


Figura 23. Interfaz gráfica circuito Serie.

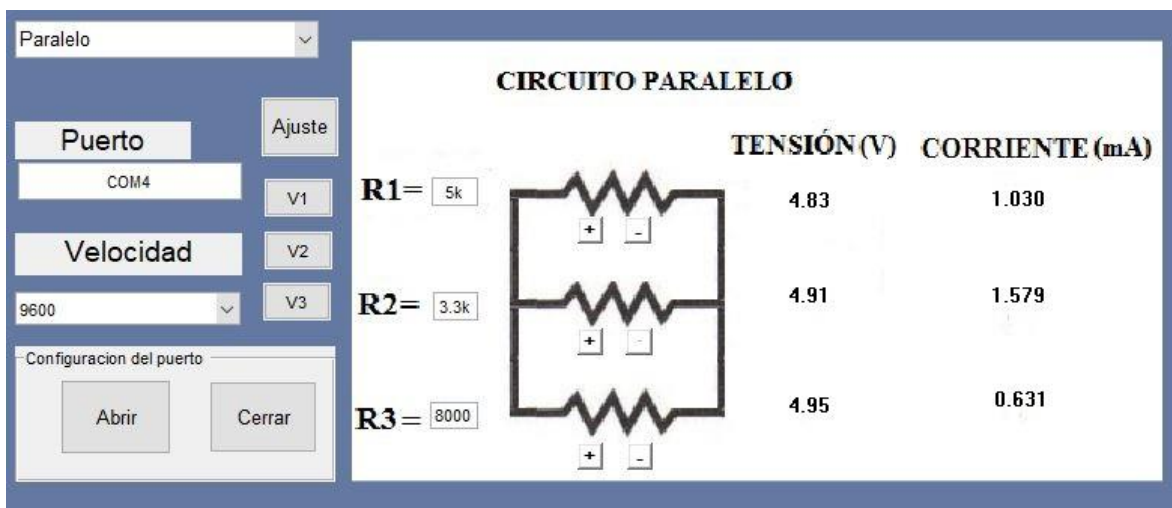


Figura 24. Interfaz gráfica Circuito Paralelo.

Se procede a realizar una validación de usuario, a través de una muestra a conveniencia de 25 estudiantes universitarios, dispersos entre ingeniería electrónica, ingeniería de sistemas, e ingeniería industrial pertenecientes a los primeros semestres de sus respectivos programas.

Cada encuestado realizó una práctica de laboratorio propuesta y contesto una encuesta respecto a la experiencia realizada.

A continuación, se presenta la práctica de laboratorio y los resultados obtenidos.

Laboratorio de Circuitos Resistivos

Práctica 1

Ley De Ohm

Objetivo De La Práctica

- Reportar correctamente una medición
- Entender el concepto de la ley de Ohm

PRE-INFORME

1. Consultar para que sirve media y la desviación estándar en un proceso de toma de datos.
2. Consultar como se reporta una medida realizada con un instrumento digital.
3. Consultar qué es diferencia de potencial o tensión.
4. Consultar qué es una señal de corriente continua, corriente alterna y cuáles son sus principales diferencias.
5. Consultar qué función cumple una resistencia eléctrica en un circuito.
6. Consultar qué es un circuito eléctrico.
7. ¿Qué es la ley de Ohm?

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Las actividades a continuación descritas serán desarrolladas en una sesión, donde el estudiante entregara un informe escrito con el desarrollo de la práctica y los resultados obtenidos.

1. Usando el software para la configuración de circuitos resistivos, seleccione la topología serie, ajuste R2 y R3 con un valor de $5k\Omega$.
2. Llene la tabla 2 que se presenta a continuación, variando R1 con los valores allí descritos, posteriormente calcule usando las medidas de tensión y corriente el valor de resistencia real.
3. Ajuste R1, R2 y R3 en $1k\Omega$ y realice 20 mediciones de tensión y corriente en cada elemento, registre los datos, calcule la media, desviación estándar de la tensión, corriente y resistencia calculada, realizado esto, reporte correctamente la medida.

	Valor R1 teórico	Tensión(V)	Corriente(A)	Valor R1 práctico
1	500 Ω			
2	1 k Ω			
3	1.5 k Ω			
4	2 k Ω			
5	2.5 k Ω			
6	3 k Ω			
7	3.5 k Ω			
8	4 k Ω			
9	4.5 k Ω			
10	5 k Ω			
11	5.5 k Ω			
12	6 k Ω			
13	6.5 k Ω			
14	7 k Ω			
15	7.5 k Ω			
16	8 k Ω			
17	8.5 k Ω			
18	9 k Ω			
19	9.5 k Ω			
20	10 k Ω			

Tabla 2. Registro de datos.

INFORME

Como resultado de esta práctica se debe presentar un informe en el formato IEEE con el desarrollo de la práctica. Y se deben responder la siguiente pregunta:

1. ¿Cómo es el comportamiento de la corriente respecto a la variación de resistencia? Construya una gráfica que relacione estas dos variables.
2. Discuta como es la relación entre la diferencia de potencial y el valor de resistencia, construya una gráfica que relacione estas dos variables.
3. Analice la diferencia entre el valor ideal de resistencia y el valor obtenido al realizar la práctica, ¿A qué se deben estas diferencias?

Realizada la práctica los estudiantes contestaron la encuesta de satisfacción.

¿Ha realizado prácticas de laboratorio de circuito con anterioridad? Ver figura 25.

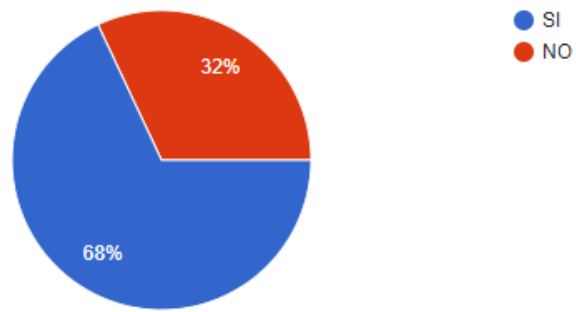


Figura 25. Tabulación respuesta 1 de la encuesta de validación

¿Considera que el uso del sistema facilita el aprendizaje de teoremas circuitales? Ver figura 26.

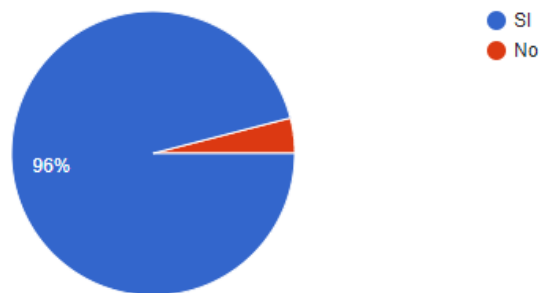


Figura 26. Tabulación respuesta 2 de la encuesta de validación

¿Considera que el uso de la interfaz gráfica agiliza el proceso de toma de datos? Ver figura 27.

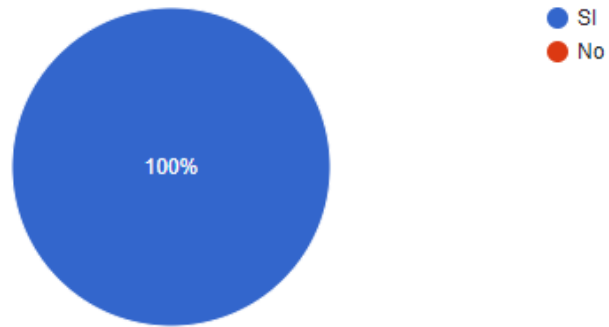


Figura 27. Tabulación respuesta 3 de la encuesta de validación.

¿Considera que alcanzó los objetivos de la práctica? Ver figura 28

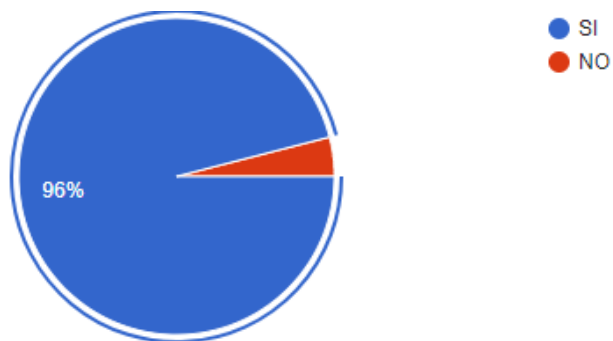


Figura 28. Tabulación respuesta 4 de la encuesta de validación.

¿Considera que la inclusión de las tecnologías de la información mejora el proceso de aprendizaje?
Ver figura 29.

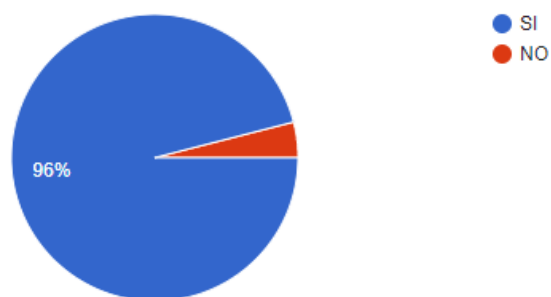


Figura 29. Tabulación respuesta 5 de la encuesta de validación.

Finalmente se deja una pregunta abierta donde los estudiantes deben describir ventajas y desventajas del sistema, a esto los estudiantes contestaron.

Ventajas:

Facilidad para toma de datos, evita dañar elementos de medición optimiza tiempos y costos

Desventajas:

Interfaz gráfica fácil de usar, pero es muy plana, falta tener la posibilidad de medir con voltímetro y verificar el resultado, no se tiene cercanía con los elementos físicos.

6 CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema que sustituye un circuito montado en protoboard, debido a esto es importante obtener un error similar al que posee un circuito que en el rango trabajado (resistencias de 0 a $10\text{k}\Omega$ con una tolerancia típica del 10%) es muy cercano al error RMS obtenido de 0.213V después de haber realizado el ajuste con mínimos cuadrados.

El proceso de validación por parte de los estudiantes permitió corroborar que el uso de un sistema controlado por interfaz gráfica permite agilizar la toma de datos en prácticas de laboratorio.

Del muestreo por conveniencia se obtuvo que el 30% de los encuestados nunca había realizado una práctica de laboratorio y más de un 50% manifestó haber realizado su primera práctica solo hasta llegar a la universidad es posible evidenciar la carencia de laboratorios en los niveles de educación básica.

Con el objetivo de disminuir los costos del sistema se realizó una medida indirecta de corriente utilizando resistencias de 10Ω , elegir este método no afecta significativamente las medidas obtenidas y es más económico que utilizar sensores destinados para la medición de corriente, que para el orden de mA son de alto costo y es necesario realizar otra etapa de instrumentación adicional para estos.

7 TRABAJOS FUTUROS

Generar un sistema remoto que permita a los colegios acceder al sistema a través de un servidor, permitiendo incrementar el acceso de las entidades académicas al sistema.

Desarrollar una interfaz gráfica en un entorno de software libre con el fin de disminuir costos.

Generar una interfaz gráfica con una capa de visualización más interactiva que genere mayor atracción por parte de los estudiantes.

Usar resistencias de 0.001 Ohm especiales para las medidas de corriente disminuiría el error del sistema.

8 Bibliografía

- [1] MINTIC, «Ministerio de Tecnologías de la información y las comunicaciones,» 24 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-61782.html>. [Último acceso: 2017 Noviembre 27].
- [2] F. Castillo, «La escuela no está preparando a los ciudadanos de hoy,» *Semana*, 5 Septiembre 2014.
- [3] M. Campo, «Competencias TIC para el desarrollo profesional docente,» *Oficina de la innovación educativa*, 2013.
- [4] L Pamplona, M. Giraldo, *laboratorio de física controlado de manera remota*, Pereira, 2014.
- [5] M. Nájera, J. Méndez, V. Hugo, «Ventajas y desventajas de usar laboratorios virtuales en educación a distancia: la opinión del estudiantado en un proyecto de seis años de duración,» *Revista Educación*, vol. 31, n° 1, pp. 91-108, 2007.
- [6] A. Perez, «Colegios en mal estado frenan la educación en Colombia,» *Dinero*, 29 Julio 2016.
- [7] «Millennials y centennials, las generaciones que cambiarán el mundo,» *Semana*, 6 febrero 2017.
- [8] A. Ferrero, «A simulation tool for virtual laboratory experiments in a WWW environment,» *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* , vol. 1, pp. 102-107, 1998.
- [9] S. Chen, R. Chen, V. Ramakrishnan, S. Hu, Y. Zhuang, «Development of Remote Laboratory Experimentation through Internet,» *1999 IEEE Hong Kong symposium on robotics and control* , vol. 2, pp. 756-760, 1999.
- [10] C. Tzafestas, N. Palaiologou, M Alifragis, «Virtual and remote robotic laboratory: comparative experimental evaluation,» *IEEE Transactions on Education*, vol. 49, n° 3, pp. 360-369, 2006.
- [11] R Costa Castello, M Vallés, L.M Jiménez, L Díaz, A Varela, R Puerto, «Integración de dispositivos físicos en un laboratorio remoto de control mediante diferentes plataformas: Labview, Matlab y C/C++,» *Revista Iberoamericana de Automática e informática Industrial*, vol. 7, n° 1, pp. 23-34, 2010.
- [12] Vargas, «Docencia en Automática: Aplicación de las TIC,» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 7, n° 1, pp. 35-45, 2010.
- [13] N. Aliane, «Experiencia de Uso de un Laboratorio Remoto de Control,» *Revista Iberoamericana de Automática e informática Industrial*, vol. 7, n° 1, pp. 85-90.
- [14] J Garcia, «EL PROYECTO VISIR EN LA UNIVERSIDAD DE DEUSTO: LABORATORIO REMOTO PARA ELECTRÓNICA BÁSICA».
- [15] E. Vega, G. Muñoz, H. Roncancio, H. Velasco, J. Ballén, C. Rodríguez, «Laboratorio remoto en la educación de la ingeniería,» *Academia y desarrollo*.

- [16] C. BRAVO, «Laboratorio distribuido con acceso remoto para la enseñanza de la robótica,» *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 4, nº 7, pp. 51-61, 2009.
- [17] J. Montoya, T. Olarte, «Plataforma Web para acceso remoto a instrumentación física avanzada,» *Revista Universidad EAFIT*, vol. 46, nº 160, pp. 36-47, 2010.
- [18] S. Pérez, G. Holguín, A. Orozco, «Laboratorio de circuitos eléctricos con acceso remoto,» 2000. [En línea]. Available: <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv.php?pid=taee:congreso-2000-1147&dsID=S3C06.pdf>. [Último acceso: 21 Marzo 2018].
- [19] G. Contreras, R. Garcia, M. Ramírez, «Uso de simuladores como recurso digital para la transferencia de conocimiento,» *Apertura*, vol. 2, nº 1, 2010.
- [20] «EcuRed,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Laboratorio_virtual. [Último acceso: 7 Marzo 2018].
- [21] T. Mosca, Física, 5ta Edición ed., Reverté.
- [22] M. Sadiku, Fundamentos de circuitos eléctricos, Mexico: The McGraw-Hill Companies, 2004, pp. 37-.
- [23] N. Instruments, «Comunicación Serial: Conceptos Generales,» 2014. [En línea]. Available: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>. [Último acceso: 11 Marzo 2018].
- [24] MathWorks, «Gui de Matlab,» [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>. [Último acceso: 11 Marzo 2018].
- [25] Microchip, «PIC16F88* Datasheet,» [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291D.pdf>. [Último acceso: 20 Marzo 2018].
- [26] XICOR, «Nonvolatile Digital Potentiometer,» [En línea]. Available: http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/90/287393_DS.pdf. [Último acceso: 03 Marzo 2018].
- [27] T. Instruments, «Datasheet Catalog,» [En línea]. Available: http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/120/109150_DS.pdf. [Último acceso: 12 03 2018].
- [28] «Didacticas Electrónicas,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/audio-y-video/conversor-usb-a-serial-manchattan-detail>. [Último acceso: 12 Marzo 2018].
- [29] Microchip, «Datasheet,» [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291D.pdf>. [Último acceso: 11 Marzo 2018].
- [30] J. Valentin, Automatismos y cuadros electricos, Donostiarra S.A, p. 102.

